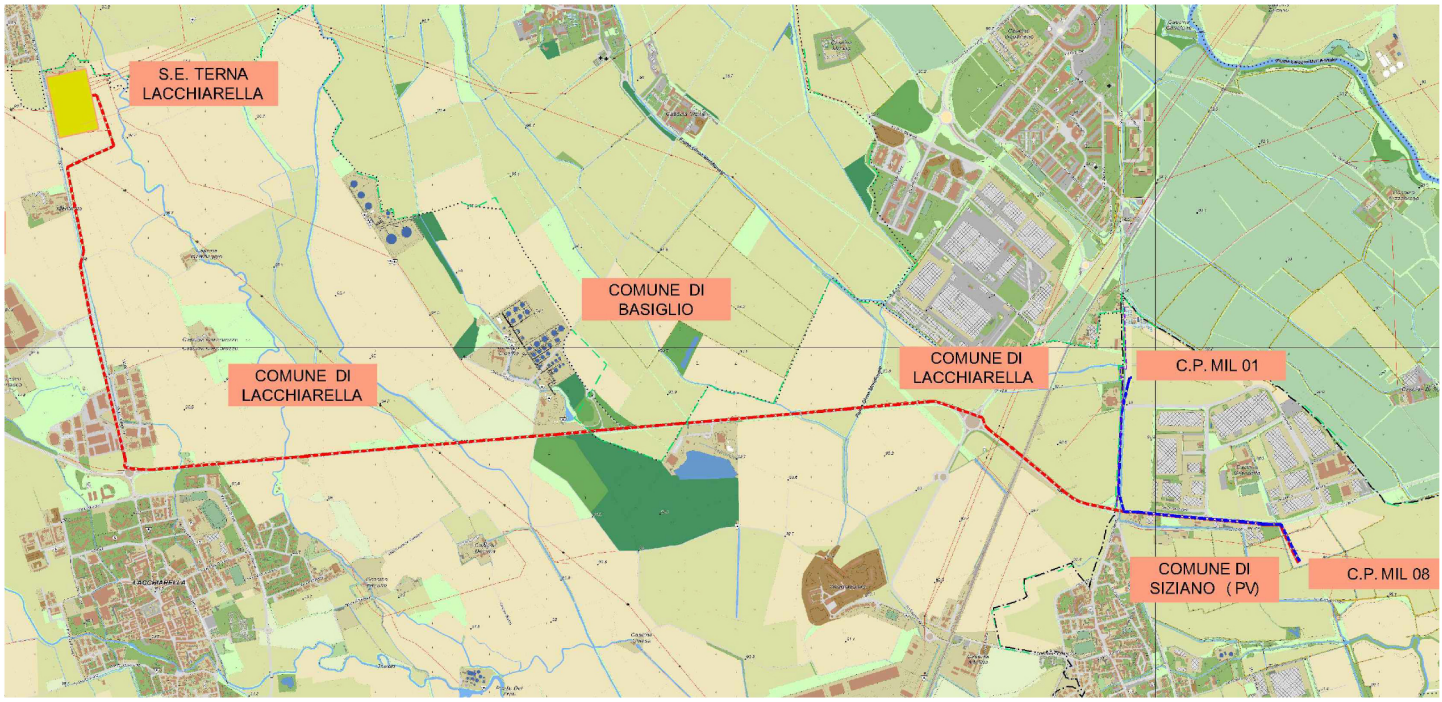

PROGETTAZIONE

STF ENGINEERING S.R.L.

Timbro e Firma Progettista

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO
00	20/02/2025	Emissione			Calabrese

PROGETTO/PROJECT: MIL L8

S.P.40 -BINASCO, snc, Siziano (PV)

REALIZZAZIONE DELL' ELETTRODOTTO AT 132 kV IN CAVO INTERRATO
- SE-TERNA-LACCHIARELLA - C.P. INFRASTRUCTURE ITALIA LAND 2 S.R.L DI SIZIANO (PV)
- C.P. INFRASTRUCTURE ITALIA LAND 2 S.R.L DI SIZIANO (PV)-C.P. INFRASTRUCTURE ITALIA LAND 1 S.R.L DI SIZIANO (PV)
- REALIZZAZIONE C.P. INFRASTRUCTURE ITALIA LAND 2 S.R.L DI SIZIANO (PV)

COMMITTENTE

INFRASTRUCTURE ITALIA LAND 2 S.R.L

VIA DEL BOSCO RINNOVATO, 6
20057 ASSAGO (MI)

PIANO TECNICO DELLE OPERE

COMMESSA

N° DOCUMENTO

SIL8-PT-AT-CPT-01_00

RELAZIONE DIMENSIONAMENTO MAGLIA DI TERRA

FORMATO FOGLIO

A4

FOGLIO

1 di 13

SCALA

-

Indice

1. Oggetto e scopo del documento 3
2. Riferimenti normativi 3
3. Descrizione del sito 4
4. Condizioni ambientali e caratteristiche del suolo 4
4.1. Descrizione impianti e livelli di tensione ai fini delle correnti di guasto a terra 4
5. Dimensionamento dell'impianto di terra 5
5.1 Corrente di guasto a terra e tempo di eliminazione 5
5.1.1 Corrente dispersa dall'impianto di terra 5
5.1.2 Corrente circolante nella maglia 5
5.2 Resistività del terreno 6
5.3 Dimensionamento termico dei conduttori 6
5.3.1 Impianto di terra primario 6
5.3.2 Cime emergenti 7
5.4 Dimensionamento e lay-out dell'impianto di terra primario 7
5.5 Tensioni Massime ammissibili 7
6. Calcolo delle prestazioni dell'impianto di terra 12

1. Oggetto e scopo del documento

Oggetto della seguente relazione è l'impianto di terra della Sottostazione elettrica 132 / 22 kV, denominata MIL08 connessa alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) a 132 kV attraverso un elettrodotto in cavo di collegamento alla RTN c/o SSE di Lacchiarella.

Lo scopo è definire, tramite i calcoli di dimensionamento, le caratteristiche dell'impianto di terra per l'opera in oggetto, facendo riferimento alle specifiche Terna ed alle norme vigenti.

Negli elaborati allegati al progetto esecutivo le caratteristiche realizzative rappresentate sono coerenti con il presente calcolo.

2. Riferimenti normativi

Le caratteristiche degli impianti, nonché dei loro componenti, dovranno rispondere alle norme tecniche, a quelle di legge ed ai regolamenti vigenti, in particolare dovranno essere conformi a:

a. Legge 1° marzo 1968, n. 186 "disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari installazioni e impianti elettrici, ed elettronici";

b. D.Lgs. n.81del 09 aprile 2008 e sue modifiche: "Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro";

c. D.M. n. 37 del 22 gennaio 2008 "installazione degli impianti";

d. Marcatura CE o dichiarazione CE ove richiesta;

e. Dichiarazione di conformità di tutti gli impianti eseguiti;

f. Prescrizioni delle Autorità di controllo e di vigilanza INAIL, INPS e VV. F;

g. Prescrizioni e indicazioni delle società per l'esercizio telefonico;

h. Specifiche tecniche del gestore, letteratura specialistica di ricerca del settore, norme CEI, CEI-EN, in caso di mancanza di riferimenti nazionali e/o europei, quelle IEC (International Electrotechnical Commission), UN.EL.-U.N.I./I.S.O. CEE, in particolare:

    1. CEI 0-2 - Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici;
    2. CEI 99-3 (CEI EN 50522) - Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kVca
    3. ANSI / IEEE Std. 80 - 2000 Guide for safety in AC Substation Grounding
    4. CEI 99-5 – Guida per l'esecuzione degli impianti di terra delle utenze attive e passive connesse ai sistemi di distribuzione con tensione superiore a 1 kVca:
    5. V. Cataliotti – A. Campoccia – Impianti di terra – Edizioni TNE – Febbraio 2013

Di tutte le norme anche non espressamente citate sarà considerato valido l'ultimo aggiornamento, compresi gli eventuali supplementi, modifiche ed integrazioni.

3. Descrizione del sito

La presente relazione tecnica riguarda la progettazione esecutiva delle opere previste nell'ambito della realizzazione di una sottostazione con tensioni a primario e secondario rispettivamente di 132 e 22 kV; l'area di progetto è nel territorio comunale di Siziano (PV).

La rete di terra della S/S sarà interconnessa alla rete disperdente del Datacenter in almeno quattro punti, ottenendo così una superficie disperdente dell'ordine di 220 m x 180 m = 39.600 m^2.

Si precisa che, ai fini del presente calcolo, la maglia esistente del Datacenter, cui la maglia di SSE si andrà ad allacciare, non sarà contemplata a favore di sicurezza.

Il documento riguarda la progettazione esecutiva dell'impianto di terra primario e secondario, comprendente il piazzale AT, i componenti elettromeccanici, il prefabbricato comandi e gli edifici dedicati ad ufficio e S.A..

Gli impianti e le installazioni saranno realizzati in accordo alle specifiche ed alle norme citate al paragrafo precedente.

4. Condizioni ambientali e caratteristiche del suolo

Non avendo informazioni precise sulla temperatura del terreno, si assume cautelativamente, che la stessa, alla profondità di posa del dispersore (0,5 m) sia di 20°C (come consigliato dall'allegato D della norma CEI 99-3).

4.1. Descrizione impianti e livelli di tensione ai fini delle correnti di guasto a terra

Gli impianti che insistono sull'area oggetto della presente relazione possono essere suddivisi nei seguenti sistemi:

- Sistema AT 132 kV - esercito con neutro isolato (non avendo indicazioni da Terna), avente corrente di guasto a terra pari a 17.931 kA (valore ricavato da doc. Terna **"Valori minimi e massimi convenzionali della corrente di corto circuito e della potenza di corto circuito della rete rilevante"),** con tenuta delle apparecchiature pari a 40 kA.
- Sistema MT 22 kV costituito dalle linee in partenza verso Datacenter esercite con neutro isolato, avente correnti di guasto a terra inferiori rispetto a quelle AT. Il guasto a terra di tale sistema entro l'area della Sottostazione interessa la parte metallica della maglia di terra, ma non il terreno.
- Sistema BT 400/230 V - sarà alimentato dal trasformatore MT/BT per ausiliari da 1600 kVA con Vcc = 8% Dyn11 e neutro francamente a terra TN-S. Il guasto a terra di tale sistema interessa la parte metallica della maglia di terra, ma non il terreno; il valore della corrente di guasto a terra è sicuramente inferiore a 10 kA (valore della corrente teorica trifase simmetrica lato BT).
- Sistema 110 Vcc - ininfluente ai fini dello studio del dispersore.

5. Dimensionamento dell'impianto di terra

5.1 Corrente di guasto a terra e tempo di eliminazione

Per il dimensionamento termico dei conduttori occorre considerare la massima corrente che può fluire in un determinato conduttore durante il guasto, mentre per la geometria del dispersore occorre considerare la corrente effettivamente dispersa a terra. Per definire i dati da utilizzare nel dimensionamento del dispersore bisogna prima di tutto indagare sulle possibili fonti di alimentazione dei guasti a terra nelle due casistiche rispettivamente di guasto interno e di guasto esterno all'impianto.

5.1.1 Corrente dispersa dall'impianto di terra

Analizzando i sistemi presenti nella sottostazione e descritti precedentemente si osserva che il massimo valore della corrente di guasto a terra si ha per guasto sul sistema 132 kV interno alla sottostazione.

Il dato di partenza per il guasto su tale livello di tensione è costituito dal valore della corrente di guasto a terra e del relativo tempo di eliminazione indicati dai documento tecnici TERNA.

Con riferimento al dimensionamento termico

- Corrente di guasto a terra, I_{k1}" = 40 kA
- Tempo di eliminazione, t = 0,85 s.

Con riferimento alle tensioni di contatto e passo

- Corrente di corto circuito a terra, I_F = 17.931 kA.
- Tempo di eliminazione del guasto, t_F = 500 ms.

A favore della sicurezza nel calcolo non viene inoltre considerato il fattore di riduzione proposto dalla norma CEI 99-3, Allegato I, per gli effetti drenanti dovuti agli schermi dei cavi delle linee AT, le quali essendo collegate a terra, offrono un'ulteriore via di richiusura alla corrente di guasto verso la fonte di alimentazione.

5.1.2 Corrente circolante nella maglia

L'impianto di terra di sottostazione può essere attraversato dall'intera corrente di guasto 3Io (ad esempio per guasto a terra in sottostazione); i lati della maglia devono quindi essere dimensionati per tale corrente di guasto. Ogni elemento sarà connesso a terra mediante almeno due cime emergenti che si attestano alla maglia di terra tramite connessioni a "T" (due cime emergenti più un tratto di connessione verso la maglia).

Si ipotizza che la corrente di guasto a terra del sistema 132 kV arrivi sul dispersore per mezzo delle due cime emergenti (tale assunzione è legata al fatto che ogni carpenteria delle apparecchiature AT sarà collegata con almeno 2 cime emergenti). La corrente si suddividerà inizialmente sui due tratti della "T". Assumendo quindi in via cautelativa che la corrente si ripartisca al 50 % nelle cime emergenti e con la proporzione 60% e 40 % nel conduttore di maglia, la massima corrente di guasto che può interessare un conduttore della rete primaria per un guasto a terra sul sistema 132 kV è pertanto:

$I = I_{k1}'' * 0,5 * 0,6 = 40 * 0,5 * 0,6 = 12$ kA; $t = 0,85$; (1)

5.2 Resistività del terreno

Per la resistività del terreno, non essendo disponibili le misure in situ, è stata assunta una resistività del terreno cautelativa pari a 60 Ω·m.

Tale valore si riterrà costante per le varie profondità del terreno, assumendo in fase di calcolo un modello di terreno a singolo strato. Per questo motivo, a vantaggio della sicurezza, si trascurerà nel calcolo l'effetto positivo dei dispersori verticali.

5.3 Dimensionamento termico dei conduttori

5.3.1 Impianto di terra primario.

L'impianto di terra primario è costituito da un dispersore a maglia, i conduttori si assumono di rame nudo CU-ETP UNI 5649-71 con sezione 70 o 125 mm^2 collegati ad ogni incrocio mediante morsetti a compressione ed interrati a 0,7 m di profondità rif. CEI EN 50522 e DK 4280.

Vediamo di seguito i risultati dei calcoli.

Poiché il tempo di eliminazione del guasto è inferiore ai 5 secondi, il fenomeno di riscaldamento dei conduttori del dispersore durante il guasto può essere trattato come adiabatico e la sezione dei conduttori può essere calcolata con la formula D-1 indicata dalla norma CEI 99-3.

$$A = \frac{I}{K}\sqrt{\frac{t}{\ln\frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} = \frac{12000}{226}\sqrt{\frac{0,85}{\ln\frac{300 + 234,5}{20 + 234,5}}} = 56,83\ mm^2 \qquad (2)$$

nella quale

- A è la sezione (mm^2)
- I è la corrente del conduttore (A) (valore efficace)
- t è la durata della corrente di guasto (s)
- K è una costante che dipende dal materiale del componente percorso dalla corrente; la Tabella D-1 della Norma CEI EN 50522 indica i valori per i materiali più comuni assumendo una temperatura iniziale di 20 °C
- β è il reciproco del coefficiente di temperatura della resistenza del componente percorso dalla corrente a 0 °C (vedere la Tabella D-1)
- Θ_i è la temperatura iniziale in gradi Celsius. Il valore adottato come temperatura del terreno alla profondità di 1 m, è quello di 20 °C

– Θ_f è la temperatura finale in gradi Celsius

Con la corrente individuata in 5.1.2, utilizzando i coefficienti della tab. D-1 della CEI 99-3 per conduttori in rame, assumendo una temperatura finale di 300°C si ottiene una sezione pari a 56.83 mm^2. Tale sezione, è termicamente idonea a portare la corrente di guasto, la sezione commerciale di progetto è pari a 70 mm^2.

5.3.2 Cime emergenti

Per il dimensionamento delle cime emergenti si può utilizzare la stessa equazione utilizzata in 5.3.1.

In questo caso si assume una temperatura iniziale delle cime emergenti di 40°C. Per le apparecchiature appartenenti al sistema 132 kV, saranno previsti due conduttori di terra di rame nudo, in grado di sopportare una corrente di guasto pari a 40 kA considerando sempre una ripartizione del 60% e 40%.

La sezione minima richiesta è quindi ottenibile sempre mediante la formula:

$$A = \frac{I}{K}\sqrt{\frac{t}{\ln\frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} = \frac{24000}{226}\sqrt{\frac{0{,}85}{\ln\frac{300+234{,}5}{40+234{,}5}}} = 119{,}94\ mm^2 \qquad (2)$$

Per le cime emergenti si adotta la corda con sezione commerciale 125 mm2 come indicato in CEI EN 50522 e DK 4280.

5.4 Dimensionamento e lay-out dell'impianto di terra primario

La determinazione della geometria dei dispersori è eseguita secondo la seguente procedura prevista dalla CEI EN 50522 e la DK 4281:

- Stabilire la geometria del dispersore;
- Determinare le tensioni di passo e contatto ammissibili;
- Calcolare la tensione totale di terra, le tensioni di passo e contatto, in relazione alla geometria stabilita ed alla corrente di terra precedentemente calcolata;
- Confrontare le tensioni di passo e contatto, generate nelle condizioni più gravose, con i limiti ammissibili;
- Apportare le eventuali modifiche dimostratesi necessarie.

Il documento PLANIMETRIA GENERALE - DISPERSORE DI TERRA riporta la geometria del dispersore in progetto.

5.5 Tensioni Massime ammissibili

Il progetto della geometria dell'impianto di terra ha lo scopo di evitare il manifestarsi di tensioni di passo e di contatto pericolose per le persone o dannose per le apparecchiature in occasione di guasti a terra che

comportino la dispersione della corrente di guasto mediante i dispersori dell'impianto di terra primario.

Il metodo di calcolo/verifica deve seguire il procedimento indicato nella norma CEI EN 50522 (CEI 99-3), rappresentato nel diagramma di flusso sottostante.

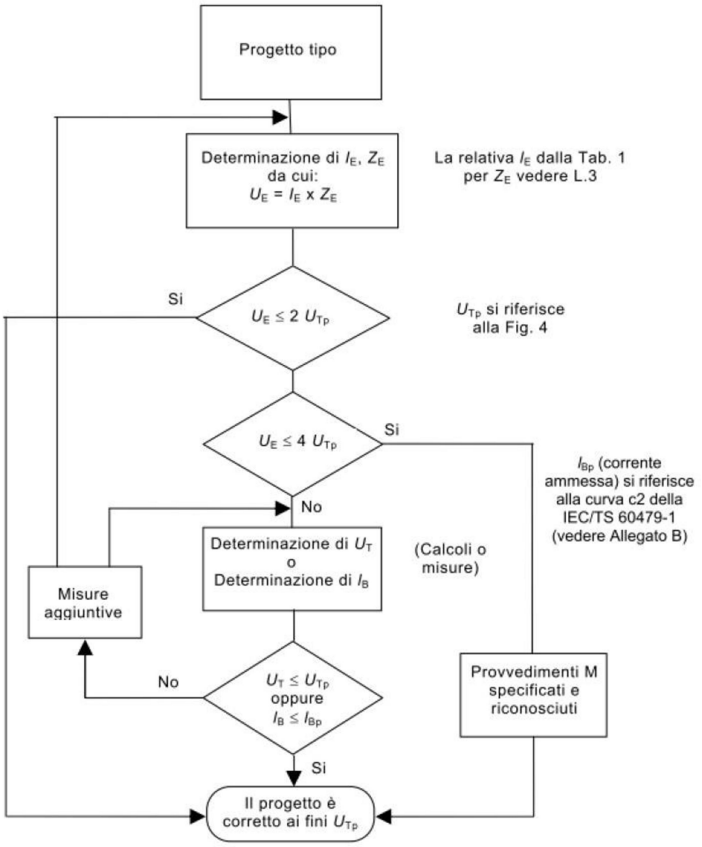

Figura 1 - Procedura di calcolo o verifica degli impianti di terra (Fig. 5 Norna CEI 99-3)

La Norma CEI 99-3 stabilisce, nella figura 4 e nella tabella B.3 dell'allegato B, che i valori massimi di tensione di passo o contatto ai quali può essere sottoposta una persona sono funzione del tempo di eliminazione del guasto. Partendo dai dati forniti, cautelativamente si è assunto un tempo di eliminazione del guasto pari a 0,50 s.

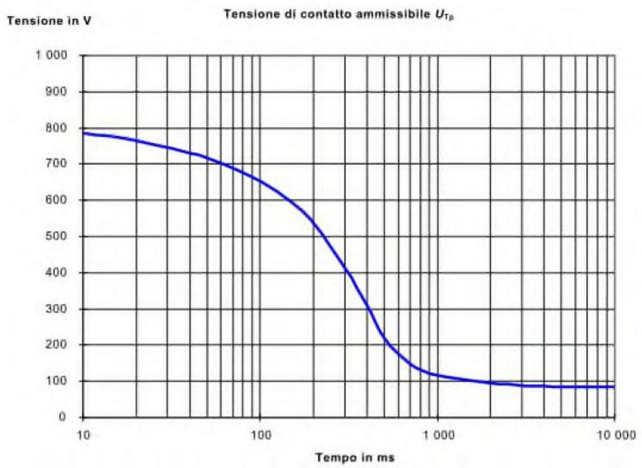

Figura 2 (rif. Fig. 5 Norma CEI 99-3)

Durata guasto t_f s	Tensione di contattto ammissibile U_{Tp} V
0,05	716
0,10	654
0,20	537
0,50	220
1,00	117
2,00	96
5,00	86
10,00	85

Tabella 1- (rif. tabella B.3 Norma CEI 99-3)

Tempi e tensioni di contatto ammissibili

Dalla curva di Fig. 4 della Norma e anche dalla Tab. B-3, nella quale in cui il tempo considerato è uno dei valori tabulati, si ricava per t_F = 0,50 s che il valore ammesso è 220 V.

Procediamo ora alla valutazione della resistenza totale di terra ai sensi dell'espressione più cautelativa dell'art. 12.3 della Guida CEI 99-5.

$$R = 2\rho / p$$

dove ρ è la resistività del terreno pari a 60 Ωm

p è il perimetro della rete di terra pari a 220 m

pertanto si avrà che la resistenza totale di terra nel caso in esame sarà pari a:

$$R_E = \frac{2 \cdot 60}{680} = 0{,}545\,\Omega$$

Pertanto si avrà che la tensione totale di terra sarà pari a:

$U_E = I_F \times R_E = 17.931 \times 0.545 = 9.772$ V

Nei dispersori di sottostazione, anche considerandoli connessi alla rete disperdente dello stabilimento, per quanto estesi, considerate le correnti di guasto, la condizione $UE \leq 2 \cdot U_{Tp}$ non è soddisfatta, pertanto si deve provvedere a mantenere le tensioni di contatto e di passo[1] entro i valori individuati. Il risultato verrà fornito al capitolo successivo dove viene calcolato il valore U_E funzione diretta della R_E.

Dovrà quindi risultare:

$$U_{Tp} < 220V \quad e \quad U_{STp} < 220V; \qquad (3)$$

Dove:

- U_{Tp} = Tensione di contatto ammissibile (Touch possible)
- U_{STp} = Tensione di passo ammissibile (Step possible)

La tensione di contatto ammissibile è tale che se applicata ad una persona la cui impedenza sia determinata mediante la Tab. B-2 della norma CEI 99-3 (derivata da IEC 60479-1), la coppia di valori corrente-tempo rappresenta la probabilità che il 50% dall'impedenza del corpo umano non superi le impedenze indicate.

I valori della U_{Tp}, U_{STp}, sono determinati in base alle seguenti ipotesi:

- percorso della corrente da una mano ai piedi (fattore di percorso 0.75);
- valore di impedenza del corpo umano avente una probabilità pari al 50% di non essere superata dalla popolazione;
- curva corrente-tempo che presenta probabilità del 5% di provocare fibrillazione ventricolare;
- nessuna resistenza addizionale.

[1] Le tensioni di passo sono più facili da soddisfare, come indicato nella norma CEI EN 50522, "È regola generale che, osservando le prescrizioni per la tensione di contatto, vengano soddisfatte le prescrizioni per la tensione di passo, perché i limiti delle tensioni di passo sono maggiori di quelli di contatto a causa del diverso percorso della corrente attraverso il corpo"

Assumendo che il calcolo della corrente nel corpo umano si basi sulla IEC/TS 60479-1 e considerando la curva c2 di Fig. 20 E Tabella 11 della IEC/TS 60479-1, come limite ammissibile di corrente (Probabilità di fibrillazione ventricolare inferiore al 5%, con percorso della corrente dalla mano sinistra ad entrambi i piedi), la Tab. B-1 della CEI 99-3 fornisce i valori di corrente ammissibile in funzione della durata dello shock.

Per ottenere la relativa tensione ammissibile di contatto, è necessario determinare l'impedenza totale del corpo umano. Tale impedenza dipende dalle tensioni di contatto e dal percorso della corrente; i valori per il percorso della corrente da mano a mano e da mano a piede sono indicati nella IEC/TS 60479-1, dalla quale è estratta la tabella Tab. B-2 della CEI 99-3 (probabilità che il 50% della popolazione non superi le impedenze indicate).

Considerando un percorso da mano a piedi è necessario considerare un fattore di correzione di 0,75 per l'impedenza del corpo umano (Fig 3 della IEC/TS 60479-1). Per mezzo di un procedimento iterativo che tiene conto della dipendenza dell'impedenza del corpo umano dalla tensione ad esso applicata, si calcola il limite di tensione di contatto per ogni valore della durata del guasto. Il risultato è indicato nella Fig. 4 e nella Tab. B-3 della CEI 99-3.

La tensione di contatto ammissibile è quella applicata alla persona senza considerare resistenze addizionali.

Nel caso in questione si ottiene che per un tempo di eliminazione del guasto di 0.5 s, la corrente massima ammissibile I_B desumibile dalla tabella B-1 della CEI 99-3 è pari a I_B= 200 mA.

Per il progetto del dispersore quando si voglia tener conto della presenza di resistenza addizionali si fa riferimento allo schema del circuito di contatto (Fig. B-1, all. B, Norma CEI 99-3) per il quale valgono le definizioni di seguito elencate:

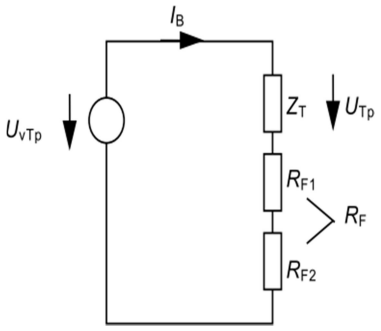

Figura 3 - modello per il calcolo delle tensioni di contatto ammissibili, con le resistenze addizionali

- U_{vTp}: Differenza di potenziale che agisce come una sorgente di tensione nel circuito di contatto, di valore limitato, che garantisce la sicurezza di una persona quando faccia uso di resistenze aggiuntive note (per esempio calzature, materiali isolanti della

superficie calpestata).

- Z_T Impedenza totale del corpo
- I_B Corrente che attraversa il corpo umano
- U_{Tp} Tensione di contatto ammissibile (tensione applicabile al corpo umano)
- R_F Resistenza aggiuntiva ($R_F = R_{F1} + R_{F2}$)
  - R_{F1} ad es. esistenza delle calzature
  - R_{F2} resistenza verso terra del luogo di sosta
- ρ_s Resistività del terreno prossima alla superficie dell'impianto (in Ω·m)
- t_F Durata del guasto

Per verificare quindi la geometria del dispersore, in fase di progetto occorre fare riferimento ai sopradetti valori di U_{vTp} e U_{Tp}, stabilendone i valori massimi ammissibili. A questi valori determinati con la procedura di calcolo, dovranno corrispondere, ad impianto realizzato, i valori riscontrati in fase di misura nel rispetto dei limiti imposti dalla norma.

L'esame del circuito in Fig. B-1 della norma CEI 99-3 allegato B permette di ricavare la tensione che si può tollerare a vuoto in presenza di resistenze addizionali nel circuito di contatto:

$$U_{vTp} = U_{Tp} \cdot (1 + R_F / Z_T) = U_{Tp} \cdot [1 + (R_{F1} + 1{,}5\ m^{-1} \cdot \rho_s) / Z_T]\ ; \qquad (4)$$

Le norme CEI considerano le tensioni di contatto e trascurano di fatto le tensioni di passo essendo i relativi valori ammissibili elevati e le tensioni calcolate di "basso" valore.

Sulla base di quanto esposto, e considerando che l'intera area di sottostazione presenta una finitura superficiale in asfalto e ghiaia[2], si determina la tensione di contatto ammissibile considerando:

- Terreno con strato superficiale in asfalto e/o ghiaia (ρ_s = 10˙000 Ω·m spessore 6 cm)
- R_{F1} pari a 1000 Ω ai sensi dell'Allegato B della Norma CEI EN 50522 per scarpe vecchie e umide (scelta conservativa)
- per un tempo di intervento pari a t_F = 0,5 s si ottiene una corrente ammissibile I_B = 200 mA e U_{Tp} = 220 V
- Z_T = 1˙235 Ω, valore di impedenza non superato dal 50% della popolazione (interpolando in tabella B2);

Con le assunzioni di cui sopra, nel **piazzale sottostazione** la tensione di contatto ammissibile (per effetto dello strato superficiale ad elevata resistività) sarà pari a:

$$U_{STp(AS)} = U_{Tp} \cdot (1 + R_a / Z_T) = 220 \cdot (1 + (1000 + 1{,}5 \cdot 10˙000) / 1˙235) \approx 3˙070\ V\ ; \qquad (5)$$

[2] Il piano di stazione è in asfalto e ghiaia con resistività superficiale compresa tra $10^3 \div 10^4$ Ω·m.

All'esterno dell'area di sottostazione:

non essendo presente lo strato superficiale ad alta resistività (ipotizziamo comunque un valore plausibile pari a 100 Ω·m), risulta la tensione U_{STp} significativamente influenzata dalla presenza delle calzature rispetto alla sola tensione di contatto in assenza di resistenze addizionali importanti:

$$U_{STp(est)} = U_{Tp} \cdot (1 + R_a / Z_B) = 220 \cdot (1 + (1000 + 1{,}5 \cdot 100) / 1 \cdot 235) \approx 425 \text{ V} ; \qquad (6)$$

6. Calcolo delle prestazioni dell'impianto di terra

Procediamo ora alla valutazione della resistenza totale di terra, delle tensioni di contatto e passo ai sensi del volume Cataliotti TNE 2013.

Assumiamo: ρ = 60 Ωm – resistività del terreno, intesa costante

L_1 = 70 m – primo lato della rete di terra

L_2 = 40 m – secondo lato della rete di terra

4L = 220 m – perimetro della rete di terra

l_m = 4 m – lato della maglia elementare della rete di terra

I_E= 17,931 kA – massima corrente di corto circuito a terra AT

Sulla base dei suddetti valore è possibile ottenere i parametri k ed α mediante interpolazione lineare della seguente tabellina, funzione di l_m.

l_m	4	6	8	12	20
k	0,903	2,11	3,29	6,79	15
α	1,34	1,44	1,47	1,54	1,6

$k(l_m) = 0.903$

$\alpha(l_m) = 1{,}34$

Sulla base delle suddette premesse, nell'ipotesi che non siano presenti dispersori verticali, è possibile ottenere i seguenti risultati:

$$R_E = \rho \frac{1{,}244 + 0{,}183 * l_m - 0{,}003 * l^2{}_m}{(4L)^{0{,}97 + 0{,}0123 l_m - 0{,}0003 l^2{}_m}}$$ Resistenza totale di terra

$$U_E = R_E \cdot I_E$$ Tensione totale di terra

$$U_{vSx} = \rho * I_E \frac{0{,}404 + 0{,}15 * l_m - 0{,}002 * l^2{}_m}{(4L)^{1{,}241 + 0{,}0167 l_m - 0{,}00044 l^2{}_m}}$$ Tensione di passo a vuoto ultima maglia d'angolo

$$U_{vTx} = \rho * I_E \frac{-1{,}134 + 0{,}564 * l_m - 0{,}0055 * l^2{}_m}{(4L)^{1{,}157 + 0{,}032 l_m - 0{,}0008 \ {}^2{}_m}}$$ Tensione di contatto a vuoto ultima maglia d'angolo

$U'_{vTx} = \rho * I_E \frac{k(l_m)}{(4L)^{\alpha(l_m)}}$ Tensione di contatto a vuoto penultima maglia d'angolo

Le espressioni determinano errori contenuti entro il 5%.

Sostituendo tutti i valori dei parametri sopra richiamati e di progetto si ottiene:

R_E = 0,4865 Ω

U_E = 8.723,87 V

U_{vTx} = **942,48 V**

U_{vSx} = **1.178,69 V**

U'_{vTx} = **705.66 V**

Risulta pertanto che la rete di terra, non garantisce tensioni di passo e contatto inferiori a U_{Tp} = 220 V, dopo la realizzazione della maglia sarà necessario procedere con le misurazioni di passo e di contatto.

Con la realizzazione delle resistenze addizionali, è comunque verosimile che non ci saranno problemi di verifica.

7. Risultati e indicazioni in fase di direzione dei lavori

Il dispersore descritto è costituito complessivamente da circa 1.200 m di conduttore in rame nudo da 63 mm^2 (sezione commerciale minima accettabile), 600 m di conduttore in rame nudo da 125 mm_2, interrati alla profondità media di 0,7 m

a. La recinzione della stazione sarà collegata alla maglia dell'impianto BESS ed alla maglia esistente della centrale di produzione;

b. Il cancello metallico sarà collegato alla rete principale di terra ed il terreno ad esso adiacente avrà una finitura superficiale asfaltata.

c. E' necessario in fase costruttiva, verificare non siano presenti eventuali cause di trasferimento di potenziali verso aree esterne alla rete di terra primaria e quindi prevedere l'installazione di setti, giunti o spezzoni di tubazioni isolanti di sufficiente lunghezza onde evitare il trasferimento in zona remota dell'intero potenziale di terra.

Il presente documento fornisce il calcolo delle prestazioni del dispersore, con le ipotesi di resistività impostate; tali valori se pur cautelativi potrebbero mutare se dopo gli sbancamenti i valori di resistività sono sensibilmente aumentati.
L'efficienza dell'impianto deve essere validata da una serie di misure da effettuarsi:

- in fase di cantiere, dopo interramento della maglia principale, prima dei getti piano di stazione;
- in fase di commissioning e comunque prima della messa in servizio dell'impianto.

La prima serie di misure, in fase di Direzione dei Lavori, permette di per poter eventualmente integrare il dispersore con magliature o picchetti supplementari, senza demolizioni dello strato di finitura.
La seconda serie di misure permette di validare le prestazioni del dispersore: as built.

Firmato digitalmente da
carmine fiorenza
Data e ora della firma:
10/10/2025 16:45:58

8. ALLEGATI

Planimetria rete di terra sottostazione.